مجله آمایش جغرافیایی فضا،
فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان
سال هشتم/ شماره مسلسل بیست و نهم/ پاییز ۱۳۹۷

بررسی نقش فضاهای سبز بر تعدیل گرمای شهر. مورد کاوی: بوستان گل محمدی در شهر اصفهان

تقی طاوسی
استاد جغرافیای دانشگاه سیستان و بلوچستان
تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۲۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۱۷

چکیده
فضاهای سبز در محیط شهری می‌توانند برای کاهش جزیره گرمایی شهر نقش بارزی بازی کنند. افزایش دمای هوا، افزایش درجه خشکی، افزایش فراوانی و شدت موج‌های گرمایی و به طورکلی تغییرپذیری آب و هوا از جمله مخاطراتی هستند که اهمیت فضاهای سبز شهری را دو چندان می‌سازند. چرا که نقش تعدیل کننده فضاهای سبز شهری به فضاهای پیرامونی نیز گسترش می‌یابد. در این پژوهش نقش دمایی بوستان گل محمدی خیابان رباط شهر اصفهان به مساحت (۹/۲۸۶۶ هکتار) و مساحت پوشش گیاهی (۷/۵۴۶۴ هکتار) و اثر آن بر فضای پیرامونی واکاوی شده است. اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی (دما، رطوبت نسبی، سرعت باد) در یک محدوده مشخص انجام شده است. محدوده مورد مطالعه از درون بوستان گل محمدی آغاز و تا خیابان‌های پیرامونی که دارای جهت‌های متفاوت و آفتابگیری ناهمسانند، کشیده شده است. نتایج نشان داد که فضای سبز چه در سایه و چه در آفتاب، خنک‌تر از خیابان‌های پیرامونی است. اندازه تفاوت‌ها در روزهای گرم‌تر بیشتر است. در هر دو مورد، این تفاوت میان بخش سایه‌گستر فضای سبز و بخش آفتابی یک خیابان با راستای غربی شرقی در بخش شمالی بوستان گل محمدی رخ داده است. وانگهی بررسی پتانسیل شرایط وضع هوای محلی، بویژه سرعت ناچیز باد، آفتابگیری و هندسه شهری از فاکتورهایی هستند که این تفاوت‌ها را بیان می‌کنند. نقش فضاهای سبز بر سرمایش فضای پیرامون خود را می‌توان با شیوه‌های دیگری که به ریخت هر شهر بستگی دارد، افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: فضای سبز، جزیره گرمایی شهر، جزیره سرمایشی بوستان، اصفهان.

مقدمه

رشد جمعیت شهرنشین در سطح دنیا تبدیل بسیاری از اکوسیستم‌های طبیعی را به مناطق کشاورزی و شهری به دنبال داشته است (Ambuel, 1983). ایران نیز از این روند مستثنی نبوده، به‌طوری که رشد شهرنشینی و توسعه صنعتی و کشاورزی منجر به کاهش سریع زیستگاهها و از دست رفتن تنوع زیستی در سطح کشور شده است. با افزایش تراکم جمعیت در مناطق شهری، فضاهای سبز شهری نقش مهم‌تری در تعیین استاندارد زندگی در شهر بازی می‌کنند. بوستان‌های شهری در بیشتر موارد، یگانه فضاهایی به شمار می‌روند که امکان آرامش شهرنشینان را بدون خارج شدن از شهر فراهم می‌کنند (همامی و زائری امیرانی، ۱۳۹۰: ۵۵).

از سویی، تغییرپذیری آب و هوای محلی و آشفتگی شرایط محیطی همواره با گسترش مناطق شهری پیوستگی داشته است. موضوع جزیره گرمایی شهر[2] (UHI) و افزایش سطح آلودگی هوا و آلودگی صوتی برخی از پیامدهایی هستند که شهرهای بزرگتر با آن روبرو می‌باشند. آشفتگی‌هایی که فشار منفی به کیفیت زندگی و پایداری شهر وارد می‌آورند (Decker et al., 2000)، (Hough, 2004)، (Patz et al., 2005). مشکلات شهری می‌تواند در بستر گرمایش جهانی[3] (GW) بیشتر شود. در این میان، افزایش دمای هوا که از عوامل جهانی سرچشمه می‌گیرد (IPCC, 2007)،

*نویسنده مسئول: t.tavousi@gep.usb.ac.ir

2. Urban Heat Island
3. Global Warming

می‌تواند با نقش گرمایی شهر همساز شود (Hulme et al., 2002)، (Wilby et al., 2006) و افزایش آلودگی فتوشیمیایی را به دنبال آورد (Stone, 2005)، (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین همکنشی (UHI) و (GW) که افزایش بسامد و نیرومندی موج‌های گرمایی در مناطق شهری را در پی دارد (Alcoforado et al., 2008)، پیامدهای منفی برای تندرستی و محیط زیست به همراه دارد.

در اینجا، نقش سرمایشی بوستان گل محمدی خیابان رباط شهر اصفهان به مساحت (۹/۲۸۶۶ هکتار) و تأثیر آن بر پارامترهای آب و هوایی فضای پیرامونی با تأکید بر کاهش جزیره گرمایی شهر بررسی شده است، این پژوهش بر روزهای گرم و خشک تابستان و درست هنگامی که کاربری فضاهای سبز اهمیت بیشتری دارد، متمرکز شده است.

اهداف پژوهش عبارتند از:

۱- شناخت نقش سرمایشی فضای سبز شهری بر اتمسفر پیرامونی در روزهای گرم و خشک و پیامد آن بر روی پارامترهای زیست اقلیمی؛

۲- تحلیل پارامترهای گرمایی منطقه پیرامون فضای سبز با توجه به نزدیکی به بوستان و در معرض آفتاب بودن؛

۳- تحلیل ویژگی‌های شهر مانند وضع هندسی یک خیابان و راستای آن بر کارکرد گرمایی فضای سبز.

پیشینه

در نواحی شهری تغییرات سطوح بسیار شدید است. سطح شهرها به جای‌خاک و پوشش‌گیاهی با موزائیک، آسفالت، سیمان، سنگ، آجر، شیشه و... پوشش داده شده است. ساختمان‌ها، گذرگاهها، پل‌ها و سایر سازه‌های گوناگون شهری، تغییرات فراوانی در افزایش ناهمواری سطح زمین ایجاد می‌نمایند و تغییرات تراز تابشی در سطوح گوناگون زمین را موجب می‌شوند. از این رو، اختلافات آب و هوایی در مقیاس کوچک درون شهری بسیار بارز است. برای‌مثال هنگام‌گذشتن ازمرکز شهر به طرف یک فضای‌سبز، تغییر شرایط میکروکلیمایی به سهولت قابل احساس است (عشقی و قنبرزاده، ۲۱:۱۳۸۲).

فضای سبز شهری بخشی از سیمای شهر محسوب می‌شود که زیر پوشش درختان، درختچه‌ها، بوته‌ها، گل‌ها، چمن‌ها و گیاهانی است و برای بهبود شرایط زیستی، زیستگاهی و رفاهی شهروندان ایجاد شده است. بوستان، بخش جاندار ساخت کالبدی شهر را تشکیل می‌دهد و نوعی ازسطوح کاربری زمین شهری با پوشش‌های گیاهی انسان ساخت است که دارای بازدهی اکولوژیکی و بازدهی اجتماعی است. منظور از بازدهی اکولوژیکی، زیباسازی بخش‌های شهری، تغییر تراز انرژی‌تابشی، کاهش‌دمای محیط، تولید اکسیژن، افزایش نفوذپذیری خاک درمقابل انواع بارش و مواردی چون کاهش آلودگی هوا، کاهش آلودگی صوتی، بهبود شرایط بیوکلیماتیک درشهر و... است. فضای سبز می‌تواند به‌طور چشمگیری دمای هوا را کاهش دهد. فضای سبز شهری به عنوان بخش جاندار محیط شهری مکمل بخش بی‌جان شهر، یعنی ساختار کالبدی شهر است. فضای سبز در شهرها کارکردهای گوناگونی از جمله بهبود وضعیت زیست محیطی، شرایط مناسب گذران اوقات فراغت شهروندان و ... فراهم می‌سازد.

دانشمندان رشته‌های مختلف دانش از جمله آب و هواشناسی مایلند که نقش فضاهای سبز شهری را بر روی مردم بررسی کنند. مفهوم فضا اشارهٔ ضمنی به مفاهیم فیزیکی و فضایی دارد که به صورت سنتی در مباحث جغرافیایی بکار می‌رود (Graumann,2002). الگو و کارکرد فضاهای سبز، واکنش‌های انسان و در نتیجه چگونگی استفاده از بوستان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این‌رو، ساختارهای کلیدی سازنده هر بوستان، شامل سه جنبه فیزیکی (فضا)، کارکردی و روانشناسی (انگیزه حضور مردم در بوستان) بیان شده است (Eliasson et al., 2007). میکروکلیمای بوستان بر ساختار فیزیکی محل تأثیر گذار است. الگوی فیزیکی (فضا) بوستان با تأثیر بر باد، تابش، دما، یک میکروکلیمای ویژه در مکان ایجاد می‌نماید. برنامه ریزان شهری می‌توانند نقش مثبت هوا و اقلیم حاکم بر بوستان را در محیط‌های شهری گسترش دهند

(Eliasson, 2000). برخی پژوهش‌ها گویای این است که در بخشی از فضاهای شهری مانند بوستان‌ها که ویژگی‌های طبیعی چیره است، آستانه تحمل مردم نسبت به دیگر محیط فیزیکی شهر بالاتر است و می‌توان گفت که فضاهای سبز، سرچشمه احساسات مثبت می‌باشند (Chiesura, 2004).

امروزه نقش چشمگیر فضاهای سبز بزرگ بر پارامترهای زیست اقلیمی در مناطق شهری شناخته شده است (Oliveira et al., 2011). فضاهای سبز در مناطق شهری با نقش سرمایشی خود و فراهم نمودن هوای تازه می‌توانند پیامدهای آسیب زا را کاهش دهند (Yu and Hien, 2006)، (Potchter et al., 2006)، (Zoulia et al., 2009)، (Georgi and Dimitriou, 2010). هوای فراز شهر از هوای مناطق پیرامونی آنها گرمتر است. برآیند کلی جرح و تعدیل‌های غیر عمدی ناشی از ساختمان سازی، افزایش گرمای محسوس شهرها است. اثر جزیره‌گرمایی شهر، روشن‌ترین گواه برای بیان جرح و تعدیل‌های ناخواسته آب و هوایی است (کاویانی،۱۳۸۷:۲۳۵). فضای سبز شهری با تغییر زاویه تابش، آلبدو، گسترش سایه در لایه‌مرزی و میکروکلیمایی سطوح شهری موجب دگرگونی تراز انرژی تابشی در سطوح شهری می‌گردد و با تبخیر و تعرق گیاهی و به کمک تبدیل گرمای محسوس به گرمای نهان تبخیر به تعدیل جزیره‌گرمایی شهر کمک شایانی می‌کند. چنان که دریک روز آفتابی تابستان چهار هزار متر مربع زمین چمن حدود ۱۱ هزار لیتر آب تبخیر می‌نماید و حدود ۲ میلیون کالری گرمای محسوس را به گرمای نهان تبخیر تبدیل می‌کند و تبخیر حاصل از یک درخت راش بیش از ۲۵۲ هزار کالری است. پس توان گفت بوستان‌ها نقش مهمی در کاهش دمای هوای شهر دارند. چنان که اختلاف دمای سطح چمن و آسفالت به سادگی می‌تواند از حدود ۱۴ درجه سلسیوس فراتر رود. گرمای سطح زمین می‌تواند گرمای هوا در مقیاس میکروکلیمایی را تا ارتفاع بالاتر از یک‌متر به صورت محسوسی تحت تأثیر قرار دهد. میزان این تأثیر گاهی از ۵/۵ درجه سلسیوس بیشتر می‌شود. همجواری فضاهای سبز با سایر سطوح‌شهری که از سطح آنها تبخیری انجام نمی‌پذیرد، تفاوت دمایی بین سطوح گوناگون را در جهت افقی در پی دارد. این پدیده به جریان هوایی منجر می‌شود که از سطوح خنک تر پوشیده شده از گیاه به سمت ساختمان‌ها جریان پیدا می‌کند و تهویه طبیعی را به عنوان یک شیوه طبیعی خنک سازی به ارمغان می‌آورد و هوا را تازه می‌سازد. همچنین گیاهان می‌توانند برای کاهش و لگام نمودن پیامدهای منفی آب و هوایی که در آینده نزدیک رخ خواهد داد، نقش بازی کنند (Shimoda, 2003)، (Solecki et al., 2005)، (Gill et al 2007). چنان‌که بخاطر فرآیند دم درختان، گاز CO_2 در هوا کاهش یافته و هزینه سوخت انرژی برای کاهش دمای هوا نیز بخاطر نقش فضاهای سبز شهری کاهش می‌یابد (McPherson and Simpson, 2003)، (Wang, 2006). کاهش سطح آلودگی هوا و آلودگی صوتی از دیگر پیامدهای سودمند فضاهای سبز شهری است که برای تندرستی انسان لازم است (Nielsen and Hansen, 2007).

از این گذشته، بخاطر پیشرفت‌های اجتماعی و بوم شناختی که فضاهای سبز می‌توانند فراهم کنند، به آنها به دید یک سرمایه بزرگ برای نگهداشت کیفیت زندگی در درون فضاهای شهری نگاه می‌شود (Chiesura, 2004).

با وجود این همه پیامدهای مثبت شناخته شده کاربرد فضاهای سبز برای کاهش گرما، شاید به بررسی بیشتری نیاز باشد تا به سودهای بیشتری از گسترش فضای سبز شهری دست یافت. بررسی‌هایی که به ویژگی‌های هر منطقه شهری از جمله جزیره گرمایی و گونه پوشش گیاهی آنها بستگی دارد (Mirzaei and Haghighat, 2010).

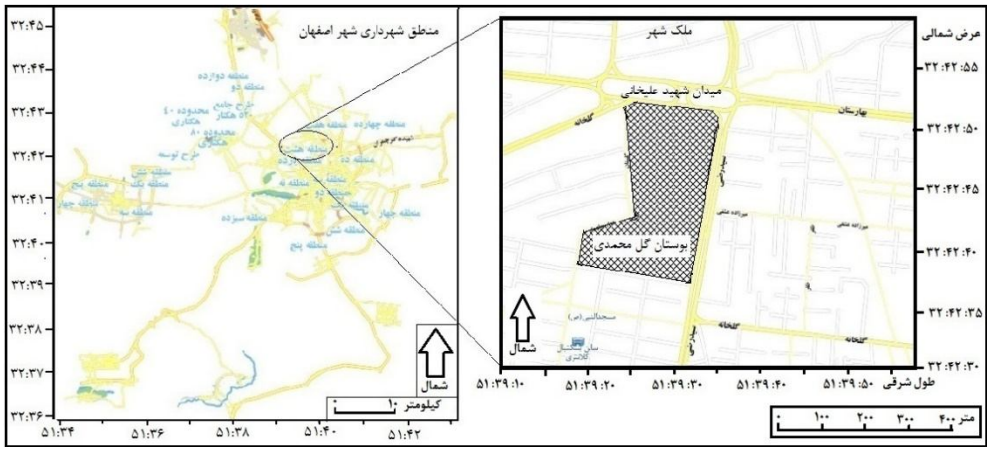
نقش فضاهای سبز در محیط شهری به ویژگی‌های گوناگون دیگری بستگی دارد. اندازه و ساختار پوشش گیاهی، فصل سال، ساعت روز، ضریب منظر آسمان در هر فضای سبز مشخص و نیز در بخش ساختمان‌های به هم فشرده و در مجموع شرایط چیره وضع هوا که بستر مناسبی برای پیدایش فضای سبز متناسب با آب و هوای منطقه را فراهم می‌سازد (Sproken and Oke, 1998)،

(Upmanis and Chen, 1999)، زمینه ساز چنین ویژگی‌هایی به شمار می‌روند. فضاهای سبزی که در شهر اصفهان گسترش یافته‌اند برای قشرهای گوناگون مردم بسیار کاربرد دارد. این گونه فضاهای سبز بویژه در شرایط بسیار گرم آسیب پذیرند (Kovats and Hajat, 2008)، بنابر این تعیین پیامدهای نهفته این گونه فضاهای سبز، بویژه پتانسیل آنها در کاهش شرایط گرم اهمیت دارد. یکی از پیامدهای نقش سرمایشی فضاهای سبز، تغییر رفتار پارامترهای اتمسفری بویژه دمای هوا، میانگین دمای تابشی، سرعت باد و نم نسبی است که می‌تواند کم و بیش تراز انرژی بدن انسان را دگرگون سازد (Andrade and Vieira, 2007).

روش پژوهش

این پژوهش برپایه سنجش پارامترهای دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد انجام شده است. انتخاب این پارامترها به دلیل نقش آنها در لگام تراز انرژی بدن انسان بوده است. سنجش میکروکلیمایی این پارامترها در طول ۶ روز تابستانی در دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ خورشیدی و در بوستان گل محمدی شهرداری منطقه ۸ اصفهان و خیابان‌های پیرامون آن انجام شده است (شکل ۱).

اصفهان در قلمرو آب و هوای خشک با زمستان سرد قرار می‌گیرد و دارای تابستان بسیار گرم است. بر پایه نرمال داده‌های ۳۰ ساله آب و هوایی در دوره آماری (۲۰۱۴ - ۱۹۸۵)، به ترتیب ژوئیه با میانگین دمای ۳۰/۱، آگوست با دمای ۲۸/۳ و ژوئن با دمای ۲۷/۶ درجه سلسیوس گرمترین ماههای سال هستند. در این سه ماه، میانگین مجموع بارندگی کمتر از ۳ میلی‌متر و میانگین سرعت باد ۱/۷۵ متر در ثانیه می‌باشد. در فصل تابستان، بادهای قطاع شرقی در شهر چیره می‌شوند که با وجود کانون‌های گرد و غباری در منطقه شرق اصفهان، این رخداد می‌توانند به افزایش گرد و غبار اتمسفری در هنگام بعد از ظهرها در شهر اصفهان منجر شود.



شکل ۱: موقع بوستان گل محمدی در منطقه هشت شهرداری شهر اصفهان

منطقه مورد مطالعه

بوستان گل محمدی در منطقه ۸ شهرداری اصفهان در حاشیه غربی خیابان سید رضی (رباط دوم) جای دارد (شکل ۱). این منطقه یک محله هموار در بخش شمالی شهر اصفهان (در جنوب ملک شهر و شرق خانه اصفهان) است. هندسه بوستان چند ضلعی بوده و کشیدگی آن در راستای خیابان سید رضی (رباط دوم) شمالی - جنوبی است. ساختمان‌های مسکونی با ریخت، رنگ و مصالح گوناگون این بوستان را در بر گرفته‌اند. یکجا شدن وسایل تفریحی و درختان این امکان را فراهم می‌نماید تا بوستان محله به صورت یک تفریحگاه ایفای نقش کند. پوشش گیاهی بوستان با مساحت ۷۵۴۶۴ متر مربع (همامی و زائری امیرانی، ۱۳۹۰: ۵۷) کم و بیش فشرده است. این پوشش در تابستان نزدیک

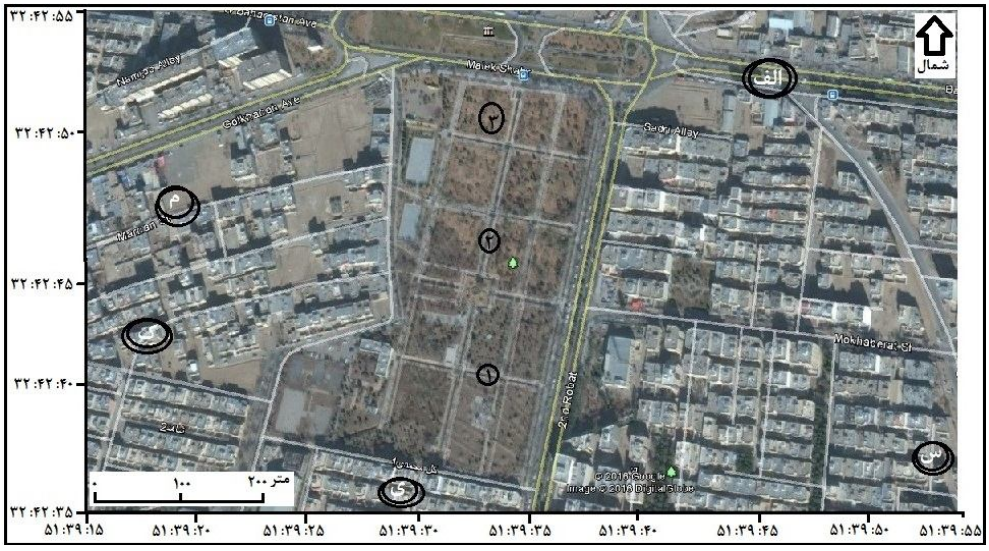
به ۸۵ درصد می‌رسد، زیرا تاج درختان کـه بـه خـوبی گسـترش یافتـه‌انـد بـر فضـای بوسـتان چتـر خـود را می‌گشایند. پراکندگی این درختان بگونه‌ای است کـه چندین راه سنگفرش شده و زمین‌های چمن گرداگـرد آنها را فرا گرفته‌اند. پیاده روهـای سـنگفرش شـده در درون بوستان امکان دسترسـی بـه آن را آسـان نمـوده است.

این بوستان مورد استفاده گروه‌های سنی متفـاوت قـرار مـی‌گیـرد. در یـک نمونـه، اسـتفاده کننـدگان برزگسال از بوستان گل محمدی، دارای میانگین سـنی ۶۱ سال بودند که ۴۰ درصد آنها بالای ۶۵ سـال سـن داشتند. شمار کسانی که به این بوستان وارد می‌شـوند در بعد از ظهر به بالاترین شـمار خـود مـی‌رسـد و در فصول بهار و تابستان بخاطر افزایش طول روز، سـاعات استفاده از بوستان نیز افزایش پیدا می‌نماید.

جمع آوری داده‌ها

در شـش روز تابسـتانی در سـال‌هـای ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، پایگاه‌هایی بـه منظـور انـدازه‌گیـری داده‌هـای مـورد نیـاز در ۸ جـای متفـاوت (۳ مکـان در درون بوستان و ۵ مکان در خیابان‌های پیرامـونی بوسـتان) و در یک راستا به طول ۱۲۰۰ متر انتخاب شدند (شـکل ۲). گزینش پایگاههای انـدازه‌گیـری بـدین منظـور در بیرون بوستان برنامه ریزی شدند که نقش فضای سـبز بر پیرامون نزدیک خود، راستای خیابان و اثر درختـان بـر پارامترهـای هواشناسـی شـناخته شـوند. میـانگین ارتفاع پایگاههای سنجش داده در بوستان گل محمدی حدود ۱۵۷۰ متر از سطح دریا است.

در هر ۸ جایگاه، پارامترهای دمـای هـوا (Ta)، نـم نسبی (RH) و سرعت باد (v) در بلنـدی ۱/۵ متـری از سطح زمین اندازه‌گیـری شـدند. بـرای ارزیـابی تـابش مستقیم آفتـاب بـر شـرایط میکروکلیمـایی، دو دسـته اندازه‌گیری در هر پایگاه (از الف تا م) یادداشت می‌شد، به این صورت که برخی در زیر پرتو آفتاب و برخی دیگر در سایه کار بودند (شکل ۲). در فضای درونی بوسـتان نیز اندازه‌گیـری پایگـاه ۱ و ۲ در زیـر تـابش مسـتقیم آفتاب و پایگاه ۳ در زیر سایه چتر بزرگ هر درخت کار بودند. پایگاههـای ۱، ۲ و ۳ در انـدرونی بوسـتان گـل محمـــدی و پایگاههـــای الـــف، س، ی، ک و م در خیابان‌های پیرامونی انتخاب شدند (شکل ۲).



شکل ۲: پایگاه‌های سنجش پارامترهای وضع هوا در درون بوستان گل محمدی و خیابان‌های پیرامون آن

در هر روز، پس از این‌که سنجش داده‌هـا در همـه پایگاهها پشت سرهم یادداشت می‌شد و در پایگـاه (م) (آخرین پایگاه) به پایان می‌رسید، اندازه گیری داده‌هـا در راستای وارونه دوباره یادداشت می‌شد، یعنی این بار سنجش داده‌ها از پایگاه (م) آغاز می‌شد. در مجموع در شش روز کار میدانی در هـر محـل، ۱۲ بـار داده‌هـای

وضع هوا برای هر یک از پارامترهای مورد مطالعه یادداشت شدند. به منظور کاهش اثر تغییر ساعت روز بر پارامترهای وضع هوای محلی، میانگین این ۱۲ مورد سنجش، به عنوان "پایه تحلیل" برگزیده شد. پارامترها در نخستین ساعات عصر دیده‌بانی می‌شد، چرا که در این هنگام بیشینه دمای روزانه در تابستان رخ می‌دهد. به این خاطر در این پژوهش به این هنگامه روز توجه شده که ساکنان محله در این ساعات بیشترین بهره برداری را از بوستان می‌کنند و نیز زمانی در روزهای گرم تابستان است که مردم می‌توانند از سرمایش محیط بهرمند شوند (جدول ۱).

جدول ۱: پارامترهای اندازه‌گیری شده در پایگاه‌های انتخابی در محل مورد مطالعه

روز	تاریخ	VCO	Vavg	Vsd	Rh%	Ta
اول	۱۳۹۳/۴/۱۵	۲	۳	۱/۶	۲۵	۲۹/۸
دوم	۱۳۹۳/۴/۲۵	۲	۳	۱/۶	۲۸	۳۰/۶
سوم	۱۳۹۳/۵/۵	۰/۴	۰/۷	۱/۲	۲۴	۳۴/۳
چهارم	۱۳۹۴/۴/۱۵	۱/۶	۲/۵	۱/۴	۲۱	۳۱/۸
پنجم	۱۳۹۴/۴/۲۵	۰/۵	۰/۸	۱/۲	۱۹	۳۲/۶
ششم	۱۳۹۴/۵/۵	۳/۲	۳/۸	۲	۲۴	۲۹/۴

VCO = میانه سرعت باد به متر در ثانیه؛ Vsd = انحراف معیار سرعت باد؛ Ta= دمای هوا به سلسیوس؛
Vavg = میانگین سرعت باد به متر در ثانیه؛ Rh% = رطوبت نسبی به درصد.

اضافه بر سنجش داده‌ها در پایگاه‌های انتخاب شده، شرایط وضع هوای روزانه از ایستگاه هواشناسی اصفهان نیز دریافت می‌شد که بلندی آن ۱۵۵۰ متر از سطح دریا (حدود ۲۰ متر کمتر از بوستان مورد مطالعه) است. داده‌های ایستگاه هواشناسی شرایط عمومی وضع هوا را در منطقه وسیع‌تری نشان می‌دهد که می‌تواند نسبتاً گویای وضع هوای منطقه مورد مطالعه نیز باشد و چارچوبی برای ارزیابی پیامدهای هندسه محلی شهر بر شرایط میکروکلیمایی فراهم نماید (جدول ۲).

جدول ۲: پارامترهای ثبت شده در ایستگاه هواشناسی اصفهان

روز	تاریخ	Tmax	Tmin	Tavg	Rh%	V L	D L
اول	۱۳۹۳/۴/۱۵	۳۵	۲۳	۲۹	۱۱/۵	۵	NE
دوم	۱۳۹۳/۴/۲۵	۳۶	۲۲	۲۹	۱۳/۵	۵	NE
سوم	۱۳۹۳/۵/۵	۳۹	۲۱	۳۰	۹/۲	۲	NW
چهارم	۱۳۹۴/۴/۱۵	۳۷	۲۲	۲۹/۵	۹/۵	۴	NW
پنجم	۱۳۹۴/۴/۲۵	۳۷	۲۲	۲۹/۵	۷/۶	۲	E
ششم	۱۳۹۴/۵/۵	۳۵	۱۹	۲۷	۹/۹	۶	NE

Tmax = بیشینه دمای روزانه هوا به سلسیوس؛ Tmin = کمینه دمای روزانه هوا به سلسیوس؛
Tavg = میانگین دمای روزانه هوا به سلسیوس؛ V L = سرعت باد در ساعت ۱۵ به متر در ثانیه؛
D L = جهت باد در ساعت ۱۵؛ Rh% = رطوبت نسبی به درصد

منبع: http://irimo.ir/far/wd/720.html

تحلیل داده‌ها

داده‌های اندازه‌گیری شده در پایگاههای انتخابی بوستان گل محمدی از سه جنبه بررسی شدند:

تغییر شدت جزیره سرمایشی بوستان[1] (PCI) در روزهای متفاوتی که داده‌ها اندازه‌گیری می‌شدند. بیشترین تفاوت (PCI) مربوط به داده‌های سنجش شده در درون بوستان و یا در بیرون آن بود (صرف نظر از این‌که داده‌ها مربوط به سایه یا آفتاب باشد). شاخص (PCI) بررسی بیشترین اثر فضای سبز بر پارامترهای اندازه‌گیری شده را فراهم می‌سازد.

1. Park Cool Island

نقش تابش آفتاب که به کمک بررسی تفاوتی که میان داده‌های اندازه‌گیری شده در آفتاب و سایه وجود دارد، تحلیل می‌شود.

بررسی اثر فاصله تا بوستان و پدیده‌های شهری (مانند ساختمان‌ها) بر داده‌های سنجش شده، که به کمک اندازه گیری پارامترهای وضع هوا در محدوده مورد مطالعه بررسی می‌شدند. برای شناخت نقش فاکتورهای گوناگون بدون توجه به اثر آفتاب، این بخش از تحلیل داده‌ها برای هر یک از موارد سنجش شده در آفتاب یا سایه به صورت جداگانه انجام شدند.

برای هر یک از این سه جنبه فوق، دمای هوا (Ta)، میانگین دمای تابشی (Tmrt) و شاخص گرمای فیزیولوژیکی که به آن دمای معادل فیزیولوژیک (PET) می‌گویند، بررسی و تحلیل شدند (جدول ۳). شاخص (PET) برپایه تراز انرژی بدن انسان بنا شده است و تابش امواج کوتاه و بلند، دمای هوا، نمناکی هوا و سرعت باد را به‌عنوان پارامترهای آب و هوایی در بر می‌گیرد، در صورتی که پوشاک و فعالیت انسان متغیرهای دمای فیزیولوژیکی بحساب می‌آیند. در این پژوهش، برای تعیین شاخص (PET) که با نرم افزار (Rayman) بدست آمده است، از پارامترهای هواشناسی یادداشت شده در پایگاههای سنجش داده و استانداردهای مربوط به پوشاک و فعالیت کمک گرفته شده است. داده‌های نم نسبی (RH) و سرعت باد (v) نیز در محاسبه (PET) منظور شدند. شاخص (Tmrt) می‌تواند به عنوان ترکیبی از همه شارهای تابشی قلمداد شود و یک مقیاس برای بیان اثر ترکیبی دماهای سطحی در یک منطقه باشد (Gill et al 2007). بنابراین شاخص (Tmrt) یک فاکتور مهم برای تعیین آسایش انسانی به شمار می‌رود. کاربرد این شاخص برای روزهای گرم با سرعت ناچیز باد بهتر است.

به هر حال، تغییر شاخص (Tmrt) بستگی بسیار بالایی به فاکتورهای میکروکلیمایی و محلی دارد (مانند هندسه خیابان و نوع مصالحی که سطوح را می‌پوشانند). این فاکتورها جلوی شناسایی الگوهای کلی را می‌گیرند، در صورتی که دمای هوا رفتار مشخص‌تری از خود نشان می‌دهد. با توجه به شرایط زیست اقلیمی، شاخص (PET) برای شناسایی نقش‌های ترکیبی متغیرهای اتمسفری محاسبه شد.

جدول ۳: شرایط دمایی و تنش گرمایی انسانی درمقادیر آستانه شاخص (PET)

تنش گرما	شرایط دمایی	PET
اندک	کمی گرم	۲۳-۲۹
متوسط	گرم	۲۹-۳۵
شدید	داغ	۳۵-۴۱
بسیار شدید	بسیار داغ	۴۱<۰۰۰

بحث اصلی

شرایط اتمسفری عمومی منطقه مورد مطالعه: همه روزهای انجام کار میدانی بدون ابر و نسبتاً داغ بود (جدول ۱). بیشینه و کمینه دمای روزانه نیز بالاتر از میانگین ماهانه بودند. آنچه مشخص شد این که در وضع هوای صاف و آرام، تفاوت‌های دمایی میان بوستان و محیط پیرامون آن بالاتر بود. در گرم‌ترین روز (۵ مرداد ۱۳۹۳، روز سوم) کمینه و بیشینه دما به ترتیب ۲۱ و ۳۹ درجه سلسیوس بود. شرایط باد بسیار متغیر بود. میانه سرعت باد اندازه‌گیری شده در سطح خیابان در منطقه مورد مطالعه همواره بسیار کمتر از سرعت اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی بود.

جزیره سرمایشی بوستان (PCI): با استفاده از داده‌های جمع آوری شده در محدوده مورد مطالعه و ایستگاه هواشناسی اصفهان در روزهای مورد نظر و به کمک نرم افزار (Rayman) نخست میانگین دمای تابشی[1] (Tmrt) و نیز میانگین دمای معادل فیزیولوژیک[2] (PET) محاسبه شد (جدول ۴ و ۵).

1. The mean radiant temperature
2. Physiologically Equivalent Temperature

جدول ۴: میانگین دمای تابشی (Tmrt) و دمای معادل فیزیولوژیک (PET) در بوستان گل محمدی

RayMan 1.2 © 2000
Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany
place: Golmohamady Park
longitude: 51°39' latitude: 32°43' timezone: UTC +3.5 h

date	day	Ta°C	RH%	v m/s	Tmrt°C	PET°C
5.7.2014	186	29.8	25.0	3.0	55.8	36.4
15.7.2014	196	30.6	28.0	3.0	56.6	37.6
25.7.2014	206	34.2	24.0	0.7	62.2	47.7
5.7.2015	186	31.8	21.0	2.5	57.5	39.7
15.7.2015	196	32.6	19.0	0.8	60.3	45.1
25.7.2015	206	29.4	24.0	3.8	54.5	34.5

جدول ۵: میانگین دمای تابشی (Tmrt) و دمای معادل فیزیولوژیک (PET) در ایستگاه همدید اصفهان

RayMan 1.2 © 2000
Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany
place: ESFAHAN
longitude: 51°40' latitude: 32°37' timezone: UTC +3.5 h

date	day	Ta°C	RH%	v m/s	Tmrt°C	PET°C
5.7.2014	186	35.0	11.5	5.0	57.2	41.1
15.7.2014	196	36.0	13.5	5.0	58.5	42.8
25.7.2014	206	39.0	9.2	2.0	61.7	48.9
5.7.2015	186	37.0	9.5	4.0	58.8	44.5
15.7.2015	196	37.0	7.6	2.0	59.5	46.0
25.7.2015	206	35.0	9.9	6.0	56.1	40.4

بیشینه اندازه (PCI) برای دمای هوا (Ta) به ۳۴/۲ درجه سلسیوس، برای میانگین دمای تابشی (Tmrt) به ۶۲/۲ درجه سلسیوس و برای شاخص (PET) به ۴۷/۷ درجه سلسیوس می‌رسد (جدول ۴). این مقیاس به نقش سرمایشی فضای سبز بر اتمسفر محیط پیرامونی خود اشاره دارد. دمای هوا (Ta)، شاخص (PET) و میانگین دمای تابشی (Tmrt) در جزیره سرمایشی بوستان (PCI) در روز سوم بالاتر بود (یعنی گرم‌ترین روز و کم بادترین روز مورد مطالعه). این یافته‌ها به خوبی نقش تعدیل کننده فضاهای سبز بر جزیره گرمای شهری را در پیرامون خود به نمایش می‌گذارد. مقدار (PCI) در هر فضای سبز مشخص از تفاوت ویژگی‌های مناطق شهری، وضع هوا، تنوع و تراکم پوشش گیاهی ناشی می‌شود. مقدار بالای (PCI) دیده شده در بوستان گل محمدی را شاید بتوان به ترکیب چندین فاکتور از جمله شرایط گسترش سایه درختان، تبخیر بالایی که به اتمسفر خشک و آبیاری پیاپی مربوط است و سرعت کم باد نسبت داد. مقایسه تفاوت‌های بدست آمده در شرایط یکسان در زیر آفتاب، امکان شناخت نقش فرآیند تبخیر و تعرق را فراهم می‌سازد.

نقش تابش آفتاب: این پژوهش نشان می‌دهد که دمای بوستان هم در بخش‌های سایه‌گستر و هم در بخش‌های در معرض آفتاب خنک‌تر است (جدول ۶). پایگاه (الف) که در یک خیابانی با راستای غربی، شرقی جای داشت، بالاترین تفاوت بین شرایط سایه و آفتاب را برای (Ta=۱/۷)، (Tmrt=۱/۲) و (PET=۲/۲) دارد. کم‌ترین تفاوت به پایگاههای انتخابی درون بوستان به ویژه پایگاه شماره ۱ که در بخش میانی بوستان جای داشت به مقدار (Ta=۰/۲)، (Tmrt=۰/۱) و (PET=۰/۲) مربوط می‌شود. پایگاه (م) که در شمال غربی در بیرون از بوستان جای دارد و ساعات کمتری در معرض تابش مستقیم آفتاب می‌باشد با داشتن تفاوت (Ta=۰/۷)، (Tmrt=۰/۴) و (PET=۰/۳) نسبت به پایگاههای بیرونی از اختلاف کمتری برخوردار بود. به اضافه این که بطورکلی فضای سبز در روزهای گرم حتی در محل‌های در معرض آفتاب می‌تواند خنک‌تر از مناطق پیرامونی خود باشد (جدول ۶).

از سوی دیگر، درختان کاشته شده در خیابان‌ها نیز بر کاهش دمای محیط اندکی نقش دارند. خیابان دارای درخت، نقش دمایی میانه دارد و بیشتر با خیابان‌های دیگری که در پوشش سایه هستند همسانند. به هر روی، همه خیابان‌ها کم و بیش گرم‌تر از بوستان می‌باشند. این شرایط می‌تواند به دلیل اهمیت آبیاری فضای سبز باشد که اجازه می‌دهد سرعت تبخیر و تعرق در روزهای گرم و خشک بسیار افزایش یابد.

نقش جایگاه فضایی محل (نزدیکی به بوستان): هم در شرایط آفتاب و هم در شرایط سایه، فضای سبز بوستان نسبت به خیابان‌های پیرامونی در همه متغیرها خنک‌تر بود و تفاوت‌های میانگین دما نسبتاً کم بود (جدول ۶). در روز سوم که گرمترین روز بوده و هوا آرام‌تر (کم باد) بود، نرخ افزایش دمای هوا به نسبت دور شدن از بوستان، بیشتر از روز ششم شده که یک روز خنک‌تر و بادی‌تری بوده است. در روز سوم، تفاوت دما میان بوستان گل محمدی و خیابان‌ها در آفتاب به ۶/۲ درجه سلسیوس و در سایه به ۵/۵ درجه سلسیوس رسید که بالاترین تفاوت در روزهای مورد بررسی بود. این تفاوت در روز ششم تنها به ۲ درجه سلسیوس در آفتاب و ۲/۹ درجه سلسیوس در سایه رسید. این بدان معنی است که نقش سرمایشی بوستان برای دمای هوا در روزهای گرم‌تر آشکارتر است.

جدول ۶: تفاوت میان داده‌های اندازه‌گیری شده در آفتاب و در سایه.

					Ta	Tmrt	PET
پایگاه	فاصله	آفتاب	سایه				
۱	۰	۳۰/۲	۳۰		۰/۲	۰/۱	۰/۲
۲	۰	۳۰/۵	۳۰/۱		۰/۴	۰/۳	۰/۵
۳	۰	۳۰/۹	۳۰/۶		۰/۳	۰/۲	۰/۴
الف	۲۵۰	۳۳/۲	۳۱/۵		۱/۷	۱/۲	۲/۲
س	۳۵	۳۲/۳	۳۱/۴		۰/۹	۰/۷	۱/۲
ی	۴۶	۳۲	۳۱		۱	۰/۵	۱/۳
ک	۱۵۰	۳۲/۴	۳۱/۱		۱/۳	۰/۹	۱/۷
م	۲۳۵	۳۲/۹	۳۲/۳		۰/۷	۰/۴	۰/۳

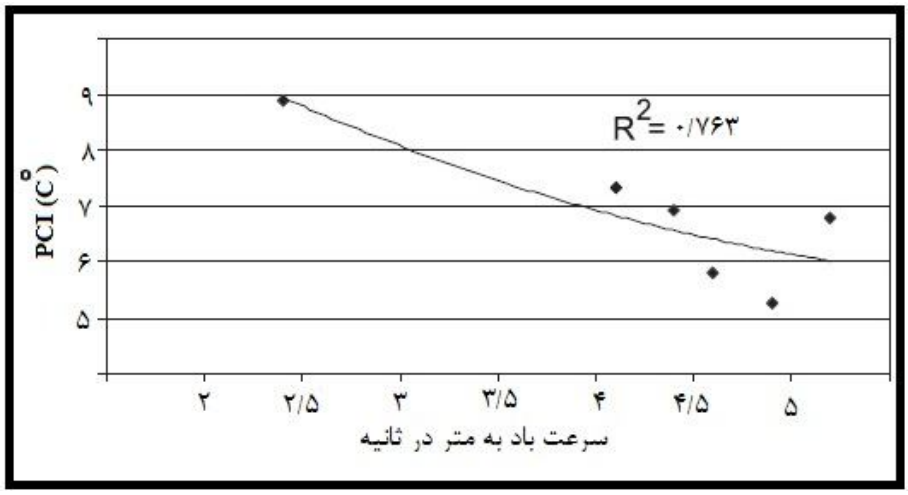
تفاوت‌های فضایی میانگین دمای تابشی (Tmrt) بسیار بیشتر از دمای هوا بود. بطورکلی بوستان گل محمدی هم در زیر آفتاب و هم در سایه، خنک‌تر از پایگاههای سنجش داده بیرون بوستان بود. میانگین اندازه‌گیری شده (Tmrt) در شرایط آفتابی، یک نشانه افزایشی را برای خیابان‌های دورتر از بوستان نشان می‌دهد. ماتزاراکیس[1] و مایر[2] (۱۹۹۸) تفاوت (Tmrt) را میان مکان‌های زیر سایه و بدون سایه برابر با ۳۰ درجه سلسیوس در تابستان ۱۹۹۶ اندازه‌گیری کردند که بسیار با تفاوت‌های سنجیده شده در این پژوهش همانند است. مایر (۱۹۹۳) در شهر مونیخ نیز به تفاوت‌های (Tmrt) همانندی در خیابان‌های دارای سایه و بدون سایه دست یافته است.

همانند مقادیر (Ta) و (Tmrt)، شاخص (PET) نیز معمولاً در بوستان پایین‌تر از خیابان‌های پیرامونی بود. در زیر تابش مستقیم آفتاب، بوستان و پایگاه (ی) خنک‌تر از پایگاه‌های دیگر بودند. با دورتر شدن از بوستان به سوی شرق، این تفاوت افزایش پیدا می‌کرد. به هر حال، شاخص (PET) در بوستان گل محمدی بالاتر از پایگاه (ی) بود. افت و خیز شاخص (PET) به تغییرات سرعت و جهت باد بستگی دارد، تغییراتی که به نوبه خود به هندسه شهری وابسته است. این الگو در شرایط سایه چندان روشن نیست. به نظر می‌رسد که کاهش تفاوت میان سایه و آفتاب با افزایش سرعت باد (v) پشتیبانی می‌شود، اگرچه این پیوند چندان روشن نیست.

جزیره سرمایشی بوستان (PCI) به همراه افزایش دمای هوا (Ta) و شاخص (PET) نیرومندتر شده و با

1. Matzarakis
2. Mayer

افزایش سرعت باد کم رنگ‌تر می‌شود. نتایج یک همبستگی منفی میان (PCI) و (Ta) با سرعت باد نشان داد (شکل ۳). تغییرات رگرسیون (ضریب تعیین) برابر با ۷۶/۳ درصد است. با وجود داشتن داده‌های باد در پایگاههای سنجش داده در محل، داده‌های یادداشت شده باد در ایستگاه هواشناسی برگزیده شدند، چرا که داده‌های ایستگاه هواشناسی کمتر دچار نوسان محلی و کوتاه مدت می‌شوند.



شکل ۳: خط رگرسیون میان (PCI) و سرعت باد

نتیجه گیری

فضاهای سبز می‌توانند نقش سرمایشی در مناطق شهری بازی کنند، که به آن «جزیره سرمایشی بوستان» گفته شده است. چنین نقش سرمایشی بیشتر در شهرهای دارای (UHI) بویژه در هنگام بروز روزهای گرم و خشک افزایش می‌یابد. مقایسه شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET) بین بوستان گل محمدی و ایستگاه هواشناسی اصفهان برای بیان شرایط دمایی و مقدار تنش گرمایی بر مبنای جدول (۳) نشان می‌دهد که شرایط دمایی در ایستگاه همدید اصفهان به جز یک روز (ششم) که داغ بوده و تنش گرمایی شدید حاکم بوده است، در سایر روزها (اول تا پنجم) شرایط بسیار داغ دمای هوا و تنش گرمایی بسیار شدید چیره بوده است. در صورتی که داده‌های اندازه‌گیری شده در فضای سبز بوستان گل محمدی گویای یک روز شرایط دمایی گرم با تنش متوسط گرما (روز ششم)، سه روز شرایط دمای داغ هوا با تنش گرمایی شدید (روز اول، دوم و چهارم) و دو روز شرایط دمای بسیار داغ هوا با تنش گرمایی بسیار شدید (روزهای سوم و پنجم) است (جدول ۷).

جدول ۷: مقایسه شرایط دمایی و تنش گرمایی انسانی بوستان گل محمدی با ایستگاه همدید اصهان

روز	تاریخ	PET	تنش گرما	شرایط دمایی	PET	تنش گرما	شرایط دمایی
اول	۱۳۹۳/۴/۱۵	۳۶/۴	شدید	داغ	۴۱/۱	بسیار شدید	بسیار داغ
دوم	۱۳۹۳/۴/۲۵	۳۷/۶	شدید	داغ	۴۲/۸	بسیار شدید	بسیار داغ
سوم	۱۳۹۳/۵/۵	۴۷/۷	بسیار شدید	بسیار داغ	۴۸/۹	بسیار شدید	بسیار داغ
چهارم	۱۳۹۴/۴/۱۵	۳۹/۷	شدید	داغ	۴۴/۵	بسیار شدید	بسیار داغ
پنجم	۱۳۹۴/۴/۲۵	۴۵/۱	بسیار شدید	بسیار داغ	۴۶	بسیار شدید	بسیار داغ
ششم	۱۳۹۴/۵/۵	۳۴/۵	متوسط	گرم	۴۰/۴	شدید	داغ

داده‌های اندازه‌گیری شده در بوستان گل محمدی و چندین خیابان پیرامونی با سمت و سوی گوناگون، تفاوت‌های دمایی میان محل‌های درونی و بیرونی بوستان را نشان داد. بزرگترین تفاوت میان پایگاه ۱

(در محل سایه در درون بوستان) و پایگاه (الف)، (در خیابان بهارستان با جهت غربی، شرقی و در آفتاب) (Ta=۱/۷)، (Tmrt=۱/۲) و (PET=۲/۲) رخ داد. این نتایج، پتانسیل نقش تعدیل کننده گرمایی فضاهای سبز را به عنوان یک کاهنده دمای (UHI) و نیز کاهنده پتانسیل نقش افزایشی گرمایش جهانی بر شهرها تأیید می‌کند. ایفای نقش دمایی یک فضای سبز و چگونگی اثر آن بر محیط پیرامونی به چندین فاکتور از جمله ریخت هر شهر و این‌که در چه محلی جای دارد و آب و هوایی که منطقه مورد مطالعه را فرا گرفته، بستگی دارد. گسترش سایه در جای فضاهای سبز، تبخیر و تعرق شدید درون بوستان و مناطق پوشیده از ساختمان‌های فشرده پیرامون آن از فاکتورهایی هستند که می‌توانند دستاوردهای این پژوهش را تبیین نمایند. سرعت ناچیز باد نیز به افزایش تفاوت‌های میان داده‌های سنجش شده در پایگاه‌ها کمک می‌کند. همچنین، تفاوت‌ها برای (Tmrt) و (PET) بیشتر بود. ماتزاراکیس[1] و مایر[2] (۱۹۹۸) تفاوت (Tmrt) را میان مکان‌های زیر سایه و بدون سایه برابر با ۳۰ درجه سلسیوس در تابستان ۱۹۹۶ اندازه‌گیری کردند که بسیار با تفاوت‌های سنجیده شده در این پژوهش همانند است. مایر (۱۹۹۳) در شهر مونیخ نیز به تفاوت‌های (Tmrt) همانندی در خیابان‌های دارای سایه و بدون سایه دست یافته است. از جنبه آسایش دمایی یا گرمای فیزیولوژیکی (Thermo physiological)، اهمیت فضای سبز برای آسودگی کاربران و ساکنان مناطق پیرامونی در این است که این تفاوت‌ها در روزهای گرم بیشتر است. به منظور شناخت بهتر همه فاکتورهای گوناگونی که نقش فضاهای سبز بر محیط پیرامونی خود را تبیین کنند به پژوهش‌های بیشتری نیاز است. پژوهش‌هایی که بازخور شایسته در راستای بهبود ویژگی‌های فضاهای سبز در مناطق شهری را برای مدیران فراهم سازد تا آنها بتوانند ریخت ویژه هر شهر را به درستی رسیدگی کنند.

1. Matzarakis
2. Mayer

منابع

۱. عشقی، ابوالفضل. هادی قنبرزاده. ۱۳۸۲. مبانی میکروکلیماتولوژی و آب و هوای محلی. چاپ اول، مشهد: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.

۲. کاویانی، محمدرضا. ۱۳۸۷. میکروکلیماتولوژی. چاپ سوم، تهران، سمت.

۳. کریمی صادق. حسین نگارش. تقی طاوسی و بهلول علیجانی. ۱۳۹۲. تحلیل سیستماتیک چرخه ازون اتمسفری در سیستم سیبرنتیک آب و هوا (مورد: کلانشهر تهران). مجله جغرافیا (فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، سال ۱۱، شماره ۳۷، تهران.

۴. هماهمی، محمود رضا. آزاده زائری امیرانی. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر اندازه و شکل پارک‌های شهر بر غنای گونه‌ای پرندگان، (مطالعه موردی: بوستان‌های اصفهان). مجله محیط شناسی، سال ۳۷، شماره ۵۹، تهران.

5. Alcoforado, M.J, and Andrade H. 2008. Global Warming and urban heat island. In: Marzluff JM, Shulenberger E, Endlicher W, Alberti M, Bradley G, Ryan C, Simon U, ZumBrunnen C, editors. Urban Ecology. Springer. p. 249-62.
6. Ambuel, B., and Temple, S.A. 1983. Area dependent changes in the bird communities and vegetation in southern Wisconsin forest.Ecology. 64:1057–1068.
7. Andrade, H., and Vieira R.A. 2007. Climatic study of an urban green space: the Gulbenkian Park in Lisbon (Portugal). Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia XLII. 84: 27-46.
8. Chiesura, A. 2004. The role of urban parks for the sustainable city. Landsc, Urban Planning, 68.
9. Chiesura, A. 2004. The role of urban parks for the sustainable city. Landscape and Urban Planning, 68(1): 129-38.
10. Decker, E.H., Elliott, S., Smith, F.A., Blake, D.R. and Rowland, F.S. 2000. Energy and material flow through the urban ecosystem. Annual Review of Energy and Environment. 25: 685-740.
11. Eliasson, I. 2000. The use of climate knowledge in urban planning. Landsc. Urban Planning 48.

12. Eliasson, I., Knez, I., Westerberg, U., Thorsson, S. and Lindberg, F. 2007. Climate and behaviour in a Nordic city, Landscape and Urban Planning, 82.
13. Georgi, J.N. and Dimitriou, D. 2010. The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: case Study of Chania, Greece. Building and Environment. 45:1401-14.
14. Gill, S.E., Handley, J.F., Ennos, A.R. and Pauleit, S. 2007. Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. Journal Built Environment, 33(1): 115-33.
15. Givoni, B. 1998. Climate considerations in building and urban design. New York: John Wiley & Sons, Inc.
16. Graumann, C.F. 2002. The phenomenological approach to people-environment studies. In: Bechtel, R.B., Churchman, A. (Eds.), Handbook of Environmental Psychology. John Wiley & Sons, Inc., New York.
17. Hough, M. 2004. Cities and Natural Processes: a basis for sustainability. New York: Routledge.
18. Hulme, M., Jenkins, G.J., Lu, X., Turnpenny, J.R., Mitchell, T.D. and Jones, R.G. 2002. Climate change Scenarios for the United Kingdom: the UKCIP02 Scientific Report. School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK: Tyndall Centre for Climate Change Research.
19. IPCC. Climate change 2007. Impacts, adaptation and Vulnerability. Contribution of working group II to the Fourth assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate change. Cambridge University Press.
20. Kovats, R.S. and Hajat, S. 2008. Heat Stress and public health - A critical review. Annual Review of Public Health. 29: 41-55.
21. Matzarakis, A., Rutz, F. and Mayer, H. 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: application of the Rayman model (Ver. 2). International Journal of Biometeorology. 51(4): 323-34.
22. Matzarakis, A. and Mayer H. 1998. Investigations of urban climate's thermal component in Freiburg, Germany. Preprints Second Urban Environment Symposium - 13th Conference on Biometeorology and Aerobiology November 2-6, Albuquerque, USA, American Meteorological Society, 140-143.
23. Mayer, H. 1993. Urban bioclimatology. Experientia, 49:957-63.
24. McPherson, E.G. and Simpson, J.R. 2003. Potential energy savings in buildings by an urban tree planting programme in California. Urban Forestry and Urban Greening, 2(2):73-86.
25. Mirzaei, P.A. and Haghighat, F. 2010. Approaches to study urban heat island - Abilities and limitations. Building and Environment, 45(10): 2192-201.
26. Nielsen, T.S. and Hansen, K.B. 2007. Do green areas affect health? Results from a Danish survey on the use of green areas and health indicators. Health & Place 2007. 13(4): 839-50.
27. Oliveira, S., Andrade, H. and Vaz, T. 2011. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon, Building and Environment, 46: 2186-2194.
28. Patz, J.A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T. and Foley, J.A. 2005. Impact of regional climate change on human health. Nature. 438(7066): 310-7.
29. Potchter, O., Cohen, P. and Bitan, A. 2006. Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the mediterranean city of Tel Aviv, Israel. International Journal of Climatology. 26(12):1695-711.
30. Shimoda, Y. 2003. Adaptation measures for climate change and the urban heat island in Japan's built environment. Building Research and Information, 31(3-4): 222-30.
31. Solecki, WD., Rosenzweig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M. and Cox, J. 2005. Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. Global Environmental Change, Part B: Environmental Hazards, 6: 30-49.
32. Sproken-Smith RA, Oke T. 1998. The thermal regime of urban parks in two

cities with different summer climates. International Journal of Remote Sensing. 19(11): 2085-104.
33. Stone, J.R.B. 2005. Urban heat and air pollution. An Emerging role for planners in the climate change Debate. Journal of the American Planning Association. 71(1):13-25.
34. Upmanis, H. and Chen, D. 1999. Influence of geographical factors and meteorological variables on nocturnal urban-park temperature differences-a case study of summer 1995 in Göteborg, Sweden. Climate Research. 13: 125-39.
35. Wang, Z. 2006. A field study of the thermal comfort in residential buildings in Harbin. Building and Environment, 41: 1034-9.
36. Wilby, R.L. and Perry, G.L.W. 2006. Climate change, biodiversity and the urban environment: a critical review based on London, UK. Progress in Physical Geography. 30(1): 73-98.
37. Yu, C. and Hine, W.N. 2006. Thermal benefits of city parks. Energy and Buildings. 38: 105-20.
38. Zoulia, I., Santamouris, M. and Dimoudi, A. 2009. Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens. Environmental Monitoring and Assessment. 156: 275-92.